

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ЭЛЕМЕНТОВ КЛАПАННЫХ ПАР ИЗ КОБАЛЬТОВЫХ СТЕЛЛИТОВ

Разработана технология изготовления элементов клапанных пар методом литья по выплавляемым моделям. Подобран химический состав для литья элементов клапанных пар. Изучено влияние скоростей охлаждения формы при заливке материалами с различной теплопроводностью на глубину измельченного поверхностного слоя в структуре отливок из кобальтовых стеллитов.

*Ключевые слова:* Кобальтовые стеллиты, Клапанная пара, Износостойкость, Твердость, Структура, Углерод, Литье по выплавляемым моделям, Точность отливок, Охлаждение, Модифицирование

We designed technology of production a valve element pairs by lost wax casting. We selected chemical composition for casting valve element pairs. The effect of cooling rate at casting mold materials with different thermal conductivity to the depth of the surface layer of crushed in the structure castings from of cobalt stellite.

*Keywords:* Cobalt stellite, steam valve, wear resistance, hardness, structure, carbon, Lost wax casting, Precision of castings, Cooling, Inoculation

Для разработки технологии изготовления определенной номенклатуры изделий из стеллита важным является определение оптимального процесса литья. Изделия, изготавливаемые из стеллита, в данном случае представляют собой клапанную пару (седло, шар), которая используются при изготовлении клапанов для ГШН (глубинных штанговых насосов, используемых при добыче нефти, газа) [1]. Клапанная пара является самым ответственным узлом насоса, поэтому от качества клапанной пары зависит, насколько долго будет работать насос.

Для изготовления отливок из кобальтовых стеллитов возможно применение широко спектра технологических процессов литья, таких как:

- литье по выплавляемым моделям;
- литье по газифицируемым моделям;
- литье в формы, изготовленные по  $\alpha$ -set процессу.

Для того чтобы выбрать какой из процессов будет наиболее целесообразен, рассмотрим одновременно следующие аспекты:

- род сплава;
- геометрическая сложность отливок;

- точность отливок.

#### *В зависимости от сплава*

Из краткого обзора, представленного во введении видно, что все отливки производственной программы будут изготавливаться из кобальтовых стеллитов. Рассмотрим кратко, что такое собственно кобальтовые стеллиты [3].

1. Кобальтовые сплавы характеризуются более высокими температурами плавления и, соответственно, более пологими кривыми длительной прочности; это обеспечивает им работоспособность по напряжению вплоть до температур, более высоких, чем у сплавов на основе Ni и Fe.

2. Вследствие более высокого содержания Сг кобальтовые сплавы превосходят другие суперсплавы по стойкости против горячей коррозии в загрязненных газовых средах.

3. Обычно кобальтовые сплавы превосходят никелевые по сопротивлению термической усталости и по свариваемости [3].

Углерод играет определяющую роль в литейных сплавах, разработанных в расчете на самую высокую длительную прочность, поскольку карбидное упрочнение – основной механизм, реализуемый в Co сплавах при обработке старением. Известно, что с изменением содержания углерода в диапазоне 0,3–0,6 % (по массе) происходит нелинейный рост прочности, поэтому для поддержания характеристик прочности при растяжении, длительной прочности и пластичности управление действием углерода имеет критическое значение. В отличие от прочности пластичность снижается с ростом содержания углерода в этом диапазоне [2].

Из всего вышеизложенного становится понятным, что на данном этапе разумно исключить литье по газифицируемым моделям, так как вследствие выжигания сплавом пенополистироловой модели, будет происходить значительное науглероживание сплава отливки, что приведет к переизбытку содержания углерода, что повлечет за собой недопустимое изменение всех необходимых механических свойств.

#### *В зависимости от геометрической сложности отливок*

Так как отливки не представляют собой сложности с точки зрения геометрии, на данном этапе оставим для дальнейшего сравнения следующие технологические способы литья:

- литье по выплавляемым моделям;
- литье в формы, изготовленные по  $\alpha$ -set процессу;

#### *В зависимости от точности размеров отливок*

Точность размеров – является одним из основных требований. Для данных изделий устраивают классы точности вплоть до 10. Следовательно, исключать литье в формы, изготовленные по  $\alpha$ -set процессу на данном этапе не стоит. Но, помимо точности размеров, также возникает вопрос борьбы с оксидными пленками в отливках. Так как кобальтовые стеллиты скло-

ны к образованию оксидных плен из-за большого количества хрома, то необходимо предпринять меры для борьбы с данным фактором. Для литья по выплавляемым моделям, а также для шоу-процесса, применяется такой технологический прием, как нанесение тонкой сетки насечек, глубиной 1–1,5 мм на поверхности отливок, также совместно с этим в литниковой системе предусмотрен пенно-керамический фильтр. В связи с этим на данном этапе разумно исключить литье в формы, изготовленные по  $\alpha$ -set процессу, так как выполнение такой тонкой сетки насечек в этих формах невозможно.

Таким образом, целесообразнее всего изготавливать элементы клапанных пар из кобальтовых стеллитов, методом литья по выплавляемым моделям.

#### *Обзор качественных и эксплуатационных характеристик изготавливаемых отливок*

Как было описано выше, отливки седло и шар из кобальтовых стеллитов обычно применяют для деталей работающих не только в условиях повышенных температур и высокоагрессивных средах, но и в условиях абразивного воздействия (так, для изделия седло необходимо достичь значения по твердости в 51...55 HRC, для изделия шар 56...64 HRC, согласно международным стандартам API).

Известно, что в сплавах типа стеллит, за твердость отвечает карбидная фаза, состоящая из карбидов вида  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_6C$  [2, 3]. Для того чтобы достичь заданной твердости и выделения карбидной фазы правильной формы необходимо урегулировать химический состав сплавов. Но для того чтобы достичь необходимого химического состава, нужно понимать, в каком интервале варьировать процентное содержание элементов в сплаве. Для этого мы обратились к опыту зарубежной компании Deloro Stellite, которая является мировым лидером по производству изделий из спецсплавов, в том числе и производству интересующей нас клапанной пары ГШН [5]. Компания Deloro Stellite для производства элементов клапанной пары седло и шар, применяют технологии порошковой металлургии, и получают данные изделия спеканием из готовых порошков [5]. С нашей точки зрения, такая технология имеет один существенный недостаток, а именно пористость изделий, что по нашему мнению может вести к не герметичности клапанной пары, в случае если на поверхность контакта седло-шар как раз попадает какая-либо пора. И если изделие не проходит испытание на герметичность, то к дальнейшей работе оно не допускается. Таким образом, нами предлагается альтернативная технология изделий седло и шар, а именно точное литье.

В первую очередь были испытаны пробные химические составы сплавов, указанных на сайте компании Deloro Stellite, которые представлены в табл. 1 [5].

Таблица 1

## Пробные химические составы кобальтовых стеллитов

| Сплав         | C    | Si  | Mn  | Cr   | Ni   | Mo   | W    | Fe  | Co    |
|---------------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-------|
| Stellite 3    | 2.45 | 1   | 1   | 31   | -    | -    | 13   | 0.1 | 51.5  |
| Stellite 33   | 2.1  | 1   | 0.8 | 32.5 | 0.75 | -    | 17   | 0.5 | 45.35 |
| Stellite 100  | 2    | 1   | 1   | 34   | -    | -    | 17.5 | -   | 44.5  |
| Stellite 20   | 2.45 | 1   | 1   | 33   | -    | -    | 17.5 | -   | 45.05 |
| Stellite 95   | 2.4  | 0.1 | 1.5 | 28   | 1    | 0.25 | 16   | 1   | 49.75 |
| Stellite 98H2 | 2    | 1   | 1   | 30   | -    | 0.8  | 18.5 | 5   | 41.7  |

Испытания твердости отливок заданных химических составов отражены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты испытаний по твердости отливок пробного химического состава

| Состав        | Номер испытания |      |      |      |      | Среднее значение |
|---------------|-----------------|------|------|------|------|------------------|
|               | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    |                  |
| Stellite 3    | 52,0            | 51,5 | 51,3 | 52,5 | 51,9 | 51,8             |
| Stellite 33   | 55,7            | 54,4 | 52,8 | 54,4 | 53,8 | 54,2             |
| Stellite 100  | 58,9            | 58,1 | 58,7 | 58,3 | 58,5 | 58,5             |
| Stellite 20   | 57,9            | 58,3 | 57,8 | 58,9 | 57,0 | 58,0             |
| Stellite 95   | 52,1            | 52,8 | 53,6 | 53,0 | 51,9 | 52,7             |
| Stellite 98H2 | 61,3            | 58,3 | 59,8 | 59,6 | 57,8 | 59,4             |

По рекомендации компании Deloro Stellite сплавы составов 3 и 20 рекомендованы для изготовления изделия типа седло [5]. Но, из данных табл. 2 становится очевидным, что состав сплава 20, не отвечает требованиям по твердости. Следовательно, принимаем решение для дальнейшего анализа использовать состав сплава stellite 3. Для изделий типа шар, в таблице 1 были подобраны 4 состава сплавов – 33, 100, 95 и 98H2. По результатам испытания твердости оказалось, что составы 33 и 95 не удовлетворяют требованиям по твердости. Поэтому для дальнейшей оценки оставляем составы сплавов stellite 100 и stellite 98H2.

*Оценка выбранных химических составов сплавов*

Для продолжения оценки выбранных химических составов сплавов на предыдущем этапе была произведена механическая обработка отливок седло и шар. Выяснилось, что при механической обработке отливок шар из выбранных химических составов stellite 100 и stellite 98H2, на поверхности изделий образуются микропоры, которые нарушают герметичность клапанной пары. Возможной причиной данному факту является наличие

крупных легкоплавких и хрупких включений в этих сплавах, так называемых эвтектик, совместно с крупными включениями твердых карбидов (рис. 1, *а, б*) [3].

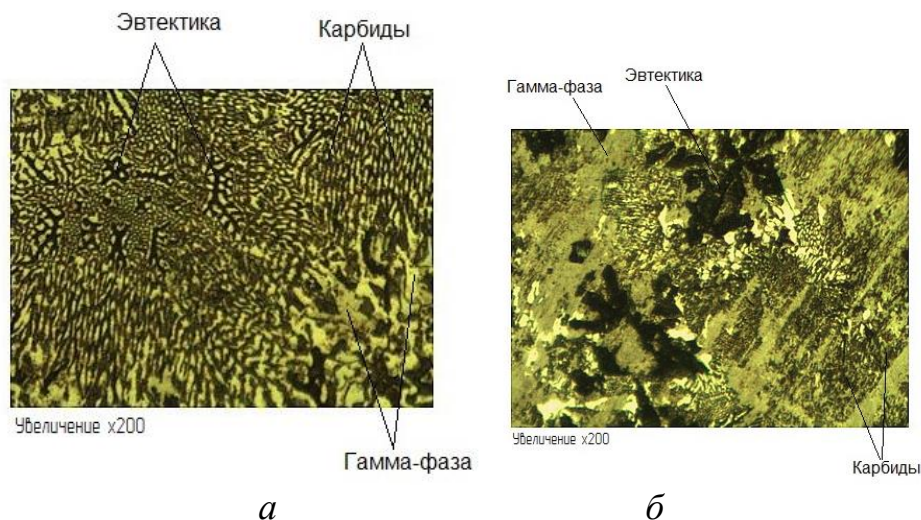


Рис. 1 *а* – структура сплава stellite 100, *б* – структура сплава stellite 98H2

В отличие от изделий шар, седла после механической обработки выкрашиванию не подвергались. И как видно на рис. 2, макроструктура седел плотная и равномерная, без крупных включений как хрупкой эвтектики, так и твердых карбидов.

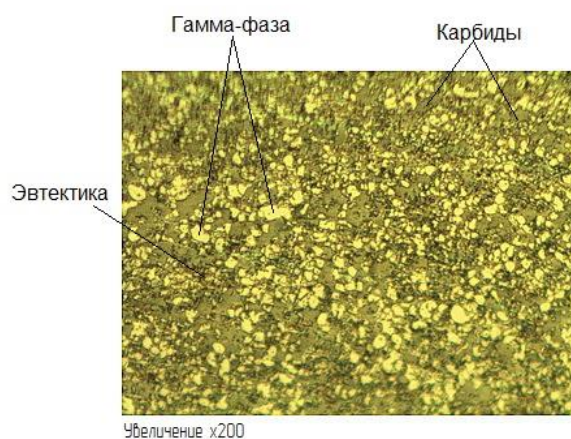


Рис. 2. Структура сплава stellite 3 (седло)

Таким образом, подобранные химические составы для изделий шар не подходят для получения отливок с плотной и равномерной структурой. Поэтому следующим шагом была попытка провести модифицирование данного сплава. В качестве модификатора была выбрана NiY лигатура [ТУ 48-0531-464-93], так как она оказывает наиболее измельчающий эффект в сплавах на основе Fe, Ni, Co с высоким содержанием легирующих элементов [3]. Однако при вводе модификатора в данном сплаве заметного измельчения структуры не наблюдалось (рис. 3 *а, б*), так как, по-видимому, в

данном сплаве в большом количестве присутствуют зародышевые центры кристаллизации, в виде тугоплавких карбидных соединений [2] и дополнительный ввод модификатора незначительно способствует получению более равномерной структуры.

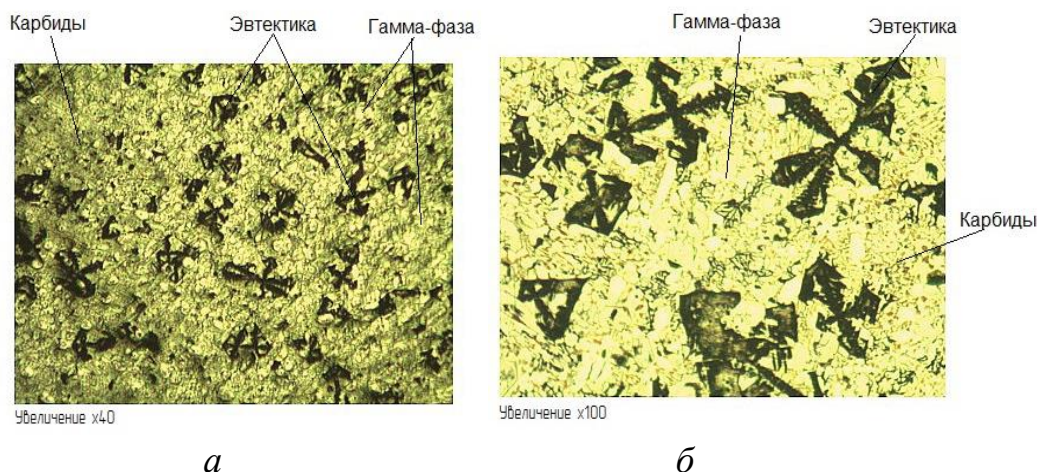


Рис. 3. влияние NiY лигатуры на структуру сплава 98H2 при различном увеличении

Не получив значительного эффекта от ввода NiY лигатуры, на следующем этапе рассмотрим какое влияние оказывают скорости охлаждения на измельчение структуры в поверхностном слое.

#### *Влияние принудительного воздушного охлаждения*

В данном пункте, как и в последующем, ожидалось, что принудительное охлаждение может повлиять на размер карбидных фаз поверхностного слоя, тем самым обеспечив более равномерную структуру на рабочей поверхности отливки [3]. Для проведения данного эксперимента был сконструирован короб с двумя боковыми окнами для подвода воздуха, изображенный на рис. 4.

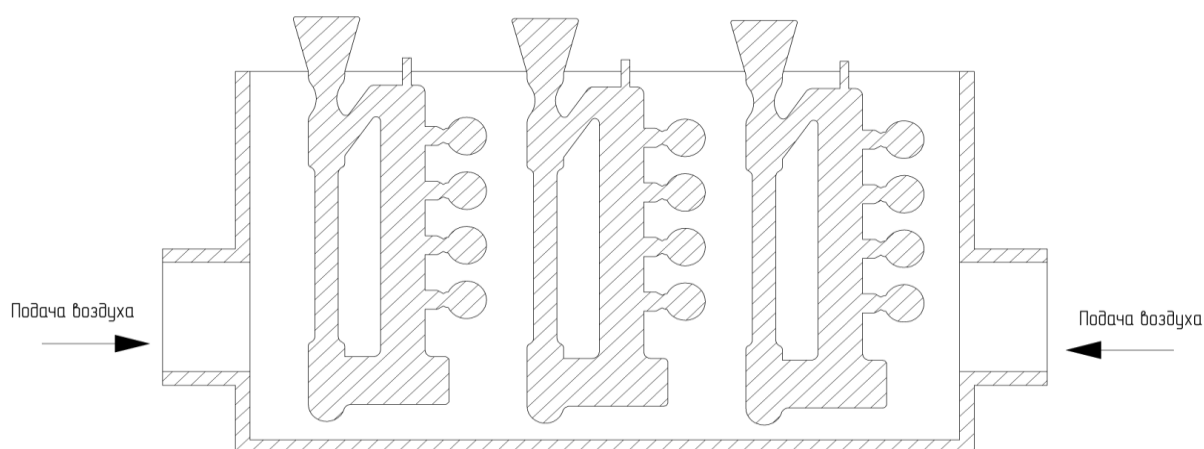


Рис. 4. Короб с воздушным охлаждением



Структура отливки и глубина измельченного поверхностного слоя изображены на рис. 5.

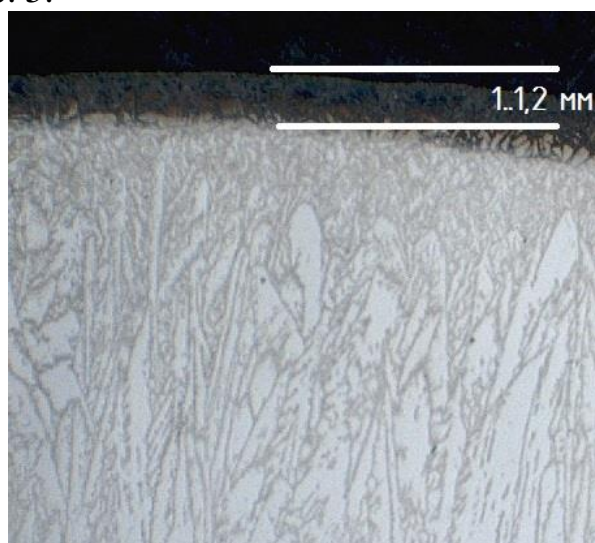


Рис. 5. Глубина измельченного поверхностного слоя

На рис. 5 видно, что принудительное воздушное охлаждение дало некий положительный эффект в виде измельчения поверхностного слоя. Но данного слоя величиной 1,2 мм недостаточно, т. к. припуск на механическую обработку составляет 1 мм. Далее рассмотрим, как влияет заливка в расплаве теплопроводного металла.

*Влияние заливки формы в расплаве легкоплавкого теплопроводного металла*

В данном пункте, аналогично предыдущему, было создано принудительное охлаждение в виде расплава свинца. Эскиз короба для заливки, схематично изображен на рис. 6.

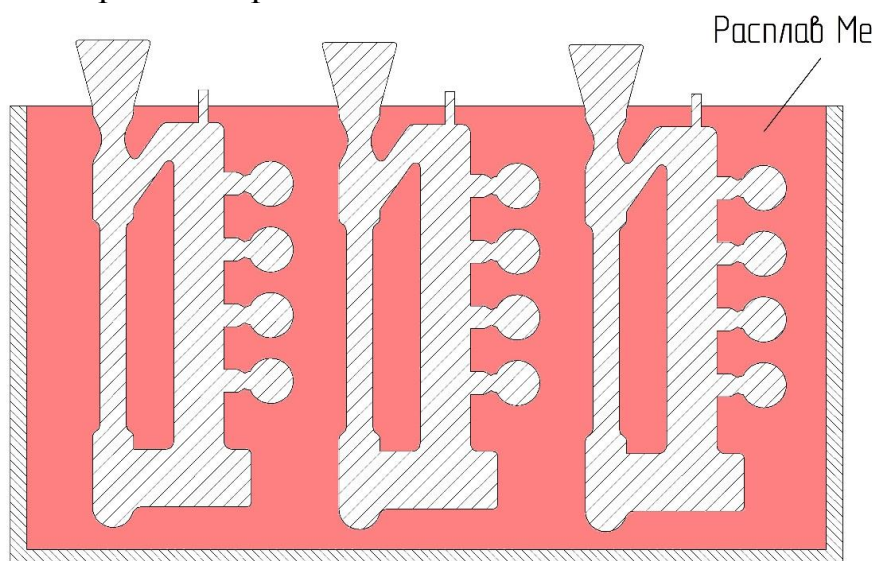


Рис. 6. Короб с охлаждением расплавом свинца



Рис. 7. Глубина измельченного поверхностного слоя

На рис. 7 видно, что принудительное охлаждение расплавом свинца дало некий положительный эффект в виде измельчения поверхностного слоя. Данный слой составляет 1,8...2 мм, что почти в 2 раза больше припуска на механическую обработку. Поэтому можно считать этот шаг успешным и рекомендовать данный способ к применению.

Проведенный анализ позволил определить оптимальную технологию изготовления отливок клапанной пары из кобальтового стеллита, а именно технологию точного литья по выплавляемым моделям. Был подобран химический состав для литья элементов клапанных пар, с допустимым значением твердости в 56...58 ед. HRC, который показывает надежность при эксплуатации и имеет хорошую обрабатываемость. Изучено влияние скоростей охлаждения формы при заливке материалами с различной теплопроводностью на глубину измельченного поверхностного слоя в структуре отливок из кобальтовых стеллитов.

### Список литературы

1. Арбузов В. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин.
2. Химушин Ф. Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов / Ф. Ф. Химушин. М.: ОБОРОНГИЗ, 1962. 335 с.
3. Суперсплавы II: Жаропрочные сплавы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок / под ред. Ч. Т. Симса, Н. С. Столоффа, У. К. Хагеля; пер. с англ. : в 2-х кн. Кн. 2 ; под ред. Р. Е. Шалина. М.: Металлургия, 1995. 384 с.
4. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. М.: Машгиз, 1961. 452 с
5. <http://www.stellite.com/Technical/AlloyDatabase/tabid/262/Default.aspx>.